

Tigriopus japonicus (Copepoda, Harpacticoida)

の糞粒形成におよぼす水温, 塩分および

2・3の化学物質の影響

吉 越 一 馬

Effects of Water Temperature, Salinity, and Some Chemicals
on the Faecal Pellet Production of *Tigriopus japonicus*
(Copepoda, Harpacticoida)

Kazuma YOSHIKOSHI

Tigriopus japonicus feeding on dried *Chlorella* powder (*Chlorella* Industry Co. Ltd.) produced compact faecal pellets of relatively uniform shape. The faecal pellet production was strongly affected by water temperature and increased with raising temperature between 5 and 30°C. Concentrated sea water, and to a lesser extent diluted sea water, decreased the faecal pellet production. Exposure to sodium laurylbenzenesulfonate, cadmium, and copper for 7 days even at concentrations of 0.008 ppm, 0.029 ppm, and 0.007 ppm (one thousandth of 48-h LC₅₀) respectively, decreased the faecal pellet production. These results suggest that the faecal pellet production is one of the better indicators of physiological activity of the individual and may be useful for marine pollution bioassay.

近年、橈脚類をはじめ動物プランクトンの糞粒は海の上層から下層への物質輸送の一端を担い、海洋生物の食物連鎖において重要な役割を果していることが明らかにされ、海洋生態学的見地からも注目されている(西沢, 1977; 根本, 1977)。糞粒はまた、動物種を問わず餌が消化管内を移送される間に形成されるものであるから、その形成過程は消化・吸収を含む消化系の諸機能と密接な関連があると考えられる。先に著者は、*Tigriopus japonicus* にコルヒチン処理を施すと消化系の機能失調によって衰弱もしくは斃死するが、その過程において糞粒数が消化系の機能の推移をかなり鋭敏に反映することを認めた(Yoshikoshi, 1980)。この結果は糞粒形成が消化系の機能を介して個体水準における総合的な生理状態を反映することを示唆しているように思われる。糞粒形成が個体の生理状態を鋭敏かつ忠実に反映するものであれば、これを指標にし

て個体の生理的活性を知り、飼育条件を吟味したり有害因子の影響を評価することもできるであろう。このような観点から、ここでは糞粒形成におよぼす水温、塩分、ラウリルベンゼンスルホン酸ソーダ(LBS)、カドミウムおよび銅の影響を調べた。

本研究に当って有益な示唆と懇切な指導を賜った日本大学教授 日比谷 京博士並びに長崎大学教授 高良夫博士に厚く御礼を申し上げる。

材 料 と 方 法

供試個体としては研究室で飼育していた *T. japonicus* の1群から比較的大型の雌成体を選んで使用し、乾燥クロレラ(クロレラ工業株式会社製)を与えた。本種は乾燥クロレラを与えた場合は Fig. 1 に示すように比較的形状の整った糞粒を形成した。

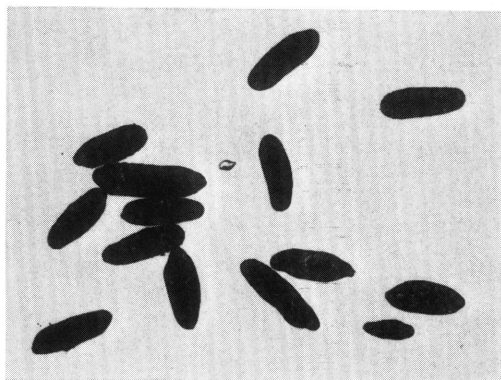


Fig. 1. Faecal pellets produced by *T. japonicus* fed on the dried *Chlorella* powder. x52.

温度の影響をみる実験では、水温を5℃から30℃まで5℃間隔で6段階とし、供試個体を乾燥クロレラを含む海水(10mg/100ml)を10ml入れた5本の試験管に3個体ずつ収容し、各実験水温に1昼夜馴致させた。その後、供試個体を別に準備した実験容器に移し、5時間後にホルマリンで固定し、糞粒の計数と大きさの測定を行なった。糞粒の測定は、長さについては両端に存在する膜状物を除いた部分で、幅については最も太い部分で行なった。また、糞粒を両端が半球形を呈する円柱状であると仮定し、上記の測定値を用いて1個体が1時間に形成する糞粒の体積を求め、これより糞形成量における温度係数 Q_{10} 値を算出した。

塩分の影響をみる実験では、塩分濃度を3.37‰(塩分量)から56.74‰までほぼ等間隔で8段階とした。試水は海水およびこれを60℃で濃縮した海水を希釈し

て調製した。この実験は20±0.1℃で行ない、実験方法は水温の場合と同様であった。

LBS, カドミウム ($\text{CdCl}_2 \cdot 5/2\text{H}_2\text{O}$) および銅 ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の影響をみる実験では、実験に先だち雌成体20個体を1群として20±0.1℃の各種濃度の試水に収容し、Doudoroffらの直線的補間法(Doudoroff *et al.*, 1951)により48時間半数致死濃度(48-h LC_{50})を求め、この値の1/10, 1/100および1/1000を試水の濃度とした。実験は20±0.1℃で行ない、供試個体を乾燥クロレラを含む各濃度の試水中で1週間飼育し、その後5時間に形成された糞粒を計数・測定した。なお、上記の飼育期間中、試水は毎日更新した。飼育容器および糞粒の測定方法等は前記の水温、塩分の場合と同様であった。

結 果

水温の影響 糞粒形成におよぼす水温の影響を Table 1 に示した。糞粒形成機能は水温に強く規定され、糞粒数は5℃では極端に少なく、水温が高いほど増加する傾向を示した。糞粒の形状をみると、長さは水温が高いほど増大する傾向を示したが、幅は20℃で最大であり、これより低温および高温のいずれの側でも減少した。糞形成量における Q_{10} 値は20℃を境に大きく異なり、より高温域で小さく低温域ではかなり大きな値を示した。

塩分の影響 糞粒形成におよぼす塩分の影響を Table 2 に示した。低塩分よりも高塩分の影響が強く現われ、糞粒数および糞粒の長さは塩分濃度が高いほど

Table 1. Effect of water temperature on the faecal pellet(FP) production in female adults of *Tigriopus japonicus* in natural sea water (mean ± S.E.)*1

Temperature (°C)	No. of copepods	No. of FPs/copepod/hr	Size of FPs (μm) Length	Breadth	Q_{10} *2
5	15	0.25 ± 0.06*3	115.9 ± 30.1*3	54.9 ± 8.7*3	8.27
10	15	0.69 ± 0.11*3	121.0 ± 31.2*3	54.6 ± 9.9*3	3.05
15	15	1.13 ± 0.11	135.2 ± 21.8*3	52.7 ± 7.1*3	4.04
20	15	1.43 ± 0.28	155.7 ± 25.7	62.0 ± 7.8	1.21
25	15	1.81 ± 0.38	153.6 ± 22.9	58.0 ± 5.8*3	1.63
30	14	1.97 ± 0.20*3	168.4 ± 29.6*3	59.7 ± 7.3*3	

*1. The experiment was carried out for 5 hours after the acclimation for 24 hours under the experimental condition. The test animals were fed on the dried *Chlorella* powder. Salinity: 33.46‰.

*2. Temperature coefficients were calculated from the volume of faecal pellets, using a column with hemispherical ends as a model.

*3. Significant compared with the 20°C group ($p < 0.05$).

Table 2. Effect of salinity on the faecal pellet(FP) production in female adults of *Tigriopus japonicus* (mean \pm S.E.)*1

Salinity (%)	No. of copepods	No. of FPs/copepod/hr	Size of FPs (μ m)	
			Length	Breadth
3.37	13	1.66 \pm 0.17*2	142.2 \pm 16.4*2	46.7 \pm 3.4*2
8.39	15	1.72 \pm 0.13	123.6 \pm 16.3*2	46.3 \pm 5.0*2
16.74	14	1.69 \pm 0.28	156.1 \pm 14.3	53.0 \pm 4.8
25.10	15	1.79 \pm 0.21	157.7 \pm 22.7	53.4 \pm 5.2
33.46	14	1.77 \pm 0.13	152.0 \pm 19.8	51.9 \pm 3.7
40.53	15	1.33 \pm 0.13*2	142.7 \pm 22.8*2	52.0 \pm 5.3
48.64	13	1.24 \pm 0.21*2	136.9 \pm 17.1*2	51.4 \pm 5.1
56.74	15	1.16 \pm 0.08*2	120.6 \pm 22.9*2	47.5 \pm 6.7*2

*1. See Table 1. Water temperature: 20 \pm 0.1°C*2. Significant compared with the natural sea water group ($p < 0.05$).Table 3. Effect of sodium laurylbenzenesulfonate on the faecal pellet(FP) production in female adults of *Tigriopus japonicus* (mean \pm S.E.)*1

Concentration (ppm)*2	No. of copepods	No. of FPs/copepod/hr	Size of FPs (μ m)	
			Length	Breadth
0.84	15	1.52 \pm 0.14*3	127.5 \pm 20.7*3	55.3 \pm 5.9*3
0.084	15	1.69 \pm 0.14*3	153.7 \pm 21.7*3	59.1 \pm 7.5*3
0.008	11	1.97 \pm 0.14	149.1 \pm 19.5*3	59.0 \pm 5.5*3
Control(0)	15	2.16 \pm 0.21	202.9 \pm 22.9	65.9 \pm 4.4

*1. The experiment was carried out for 5 hours after 7 days' incubation in the test solutions prepared from natural sea water and the test animals were fed on the dried *Chlorella* powder. Water temperature: 20 \pm 0.1°C.*2. 48-h median lethal concentration (LC₅₀): 8.4 ppm.*3. Significant compared with the control ($p < 0.05$).

減少する傾向を示した。低塩分の影響は8.39%でまず糞粒の小型化として現われ、3.37%で糞粒数の減少が認められた。

LBS の影響 LBS の 48-h LC₅₀ 値は 8.4 ppm であった。Table 3 に示すように、48-h LC₅₀ 値の 1/100 の濃度では糞粒数の減少と糞粒の小型化がみられ、また 48-h LC₅₀ 値の 1/1000 の濃度でも糞粒の小型化が認められた。

カドミウムの影響 48-h LC₅₀ 値はカドミウムの濃度で 29 ppm であった。Table 4 に示すように、糞粒形成におよぼすカドミウムの影響は 48-h LC₅₀ 値の 1/1000 の濃度でも明らかに認められ、糞粒数は減少し糞粒も小型であった。

銅の影響 48-h LC₅₀ 値は銅の濃度で 7 ppm で

あった。Table 5 に示すように、糞粒形成におよぼす銅の影響は 48-h LC₅₀ 値の 1/1000 の濃度でも明らかに認められ、糞粒数と糞粒の長さともに減少していた。銅の影響は平均値の標準誤差に端的に示されているように個体によってその現われ方がかなり異なるようであり、また必ずしも濃度の高低に伴う形で現われておらず、この点は LBS およびカドミウムの場合とは異なっていた。

考 察

消化系の機能が個体の総合的な生理状態に規定されていることは疑いないが、消化系の機能失調が個体の衰弱ないし斃死をもたらす事実 (Yoshikoshi, 1980)

Table 4. Effect of cadmium chloride on the faecal pellet (FP) production in female adults of *Tigriopus japonicus* (mean \pm S.E.)*¹

Concentration of cadmium (ppm)* ²	No. of copepods	No. of FPs/copepod/hr	Size of FPs (μ m)	
			Length	Breadth
2.9	1* ³	0		
0.29	15	1.08 \pm 0.38* ⁴	130.3 \pm 14.2* ⁴	57.8 \pm 4.8* ⁴
0.029	15	1.63 \pm 0.09* ⁴	140.6 \pm 17.8* ⁴	57.9 \pm 5.5* ⁴
Control(0)	15	2.16 \pm 0.21	202.9 \pm 22.9	65.9 \pm 4.4

*¹. See Table 3.*². 48-h LC₅₀: 29 ppm.*³. The specimen alone survived.*⁴. Significant compared with the control ($p < 0.05$).Table 5. Effect of cupric chloride on the faecal pellet (FP) production in female adults of *Tigriopus japonicus* (mean \pm S.E.)*¹

Concentration of copper (ppm)* ²	No. of copepods	No. of FPs/copepod/hr	Size of FPs (μ m)	
			Length	Breadth
0.7	15	1.29 \pm 0.51* ³	133.1 \pm 22.2* ³	52.6 \pm 5.6* ³
0.07	15	0.18 \pm 0.13* ³	116.4 \pm 13.8* ³	45.9 \pm 4.8* ³
0.007	15	0.65 \pm 0.46* ³	136.6 \pm 19.1* ³	55.9 \pm 5.8
Control(0)	15	1.91 \pm 0.12	178.0 \pm 28.0	57.6 \pm 5.6

*¹. See Table 3.*². 48-h LC₅₀: 7 ppm.*³. Significant compared with the control ($p < 0.05$).

からみて、個体水準における生理状態が栄養あるいはその他の生理的過程を介して消化系の機能に強く規定されていることもまた確かであろう。したがって、消化系の機能は個体の生理状態と相互に規定し合い、消化系の機能に依存する糞粒形成が必然的にある程度は個体の生理状態を反映することは容易に理解できる。*Tigriopus* における糞粒形成に関連して、Comita and Comita (1966) は種々の餌料密度で *T. brevicornis* を飼育し、産出卵数と糞粒数との間に高い正の相関関係があることを明らかにしているが、この結果は糞粒形成が個々の生理的過程と密接な関連があることを示唆するとともに、個体の生理状態を反映することを裏付けけるものとも解釈できる。

糞粒形成が個体の生理的活性を測る尺度となり得るには、個体の生理状態の変化を鋭敏かつ忠実に反映するものでなければならない。一般に、変温動物では生理機能が環境温度に強く規定される。したがって、糞粒形成におよぼす水温の影響は、糞粒形成が個体の生理的活性をどの程度反映し得るかを判定するうえで重

要な目安であると考えられる。ここで得られた糞形成量における温度係数 Q_{10} 値は糞粒形成機能が水温に強く規定されていることを示唆している。武田(1954)によれば、*T. japonicus* の 23℃における発生速度は 18℃のそれと比べて 2 倍であり、糞形成量における Q_{10} 値からみると、23℃における糞形成量は 18℃のその 2 倍程度になると推定され、発生速度の違いとはほぼ一致する。発生現象は個体の諸生理機能を総合的に表現すると考えられるので、相異なる水温における糞粒形成機能の差が同温度における発生速度の差と一致することは、糞粒形成が個体の生理状態を相当忠実に反映するとみてよいであろう。Kasahara and Akiyama (1976)によれば、本種は 25℃で飼育した場合には 4～8℃で、15～20℃で飼育した場合には 2～-2℃で休眠状態に陥るが、Table 1 に示した糞粒形成状況は水温低下がもたらす生理的活性の低下を端的に示しているように思われる。

糞粒形成における塩分の影響は水温の場合ほど端的には現われていない (Table 2)。これは生理機能に

およぼす水温と塩分の作用が質的に異なるためと考えられるが、本種が塩分変化に対して強い抵抗性を有することもその一因であろう。時岡と鈴木 (1939) は本種が棲息するタイドプールの環境をほぼ 1 年間にわたって詳細に観察し、著しい環境変化の様相を明らかにするとともに、本種が強い塩分抵抗性を有することを実験的に示した。Table 2 に示した糞粒形成状況によれば、低塩分はそれが極めて著しいものでない限り本種の生理機能に悪影響をおよぼさず、むしろ高塩分の影響が著しいようで、糞粒形成の面から判断されるこのような塩分耐性は、降雨によって急激かつ頻繁に塩分低下がおこる天然の棲息環境に頗るよく適合していると言える。前記 Kasahara and Akiyama は本種が高塩分海水中 (水温 23~26°C, 塩分 130~150‰) で休眠することを明らかにした。この結果によれば、塩分の上昇に伴って生理的活性が徐々に低下し、ついには休眠状態に陥るものと推察されるが、本種の糞粒形成機能が塩分の増加に伴う形で低下していることは、塩分上昇に伴う生理的活性の低下をよく反映しているとみてよいであろう。

LBS, カドミウムおよび銅についての実験結果は、これらの物質が極めて微量でも本種の生理機能に悪影響をおよぼし、糞粒形成がこれを感度よく示し得ることを示唆している。既に述べたように、この 3 種の物質の中では銅の影響がその現われ方において他 2 者とは異なっていた。この原因としては試水の調製に何らかの問題点があったかとも思われるが、銅はヘモシアニンの素材であるなど本種にとって必須の元素であることも関係しているかも知れない。

このようにみえてくると、*T. japonicus* の糞粒形成は水温や塩分などの環境要因や有害物質の影響を受け、これに伴う生理状態の変化を相当鋭敏かつ忠実に反映していると言ってもよいであろう。したがって、糞粒形成を指標にして個体の生理的活性を知り、また環境内有害因子の存在を明らかにしその影響を客観的に評価することも十分可能であると考えられる。D'Agostino and Finney (1974) は本種の発育におよぼすカドミウムと銅の影響を調べ、両者はそれぞれ 0.043 ppm および 0.064 ppm 以上の濃度で抱卵雌の成育を阻害し第 2 世代の生産を阻止すること、また両者の毒性に相乗効果が見られることを明らかにしている。この結果によれば、発育阻害を指標としてもかなり高感度で有害物質の存在を示し得ると思われる。しかし、糞粒形成を指標にすればさらに高い感度が期待でき、試験期間も大幅に短縮できる (発育阻害を指標にすれば少なくとも 3 週間を要する)。また、本種の強い塩分耐性を活用すれば、若干量の塩分添加によって試水の性

状を著しく損うことなく淡水についても試験することができるかも知れない。わが国では、ウニ卵の受精および発生阻害を指標とする汚染海水の生物検定法が既に実用化されているが、Kobayashi (1971) によれば、ウニ卵の発生に悪影響をおよぼす ABS, カドミウムおよび銅の濃度はそれぞれ 31 ppm, 1.6 ppm および 0.1 ppm 以上であり、*T. japonicus* の糞粒形成に悪影響をおよぼす濃度よりもかなり高い。

以上のように、*T. japonicus* の糞粒形成を指標とする水質汚染の生物検定は簡便でしかも高い感度が期待できるが、これが実用化されるためには今後さらに諸種の環境内有害因子の影響を明らかにするとともに、それらの相乗作用についても検討し、汚染水準を客観的に判定し得る基準を設定する必要がある。本種は種々の餌を摂取することができるが、糞粒形成を指標にする場合には形状の整った糞粒を形成する餌を用いることが望ましく、また試水中の有害物質が餌に吸着されることも考えられるので性状の一定した餌を一定量与えなければならない。この意味で、ここで用いた乾燥クロレラは質的にも安定しており、取扱い易くかつ餌料価値もかなり高いと考えられるので、今後の研究で重用されるべき餌料の 1 つであると思われる。

最後に、ここで明らかにされた *T. japonicus* の糞粒形成については生殖あるいは個体の生存に悪影響をおよぼす LBS, カドミウムおよび銅の濃度を現行の水産環境水質基準に照らしてみると、カドミウムの場合は同基準値の約 3 倍であるが、LBS および銅については同基準値以下であることは特筆すべきことと思われる。

引用文献

Comita, G.W. and Comita, J.J. (1966). In Some contemporary studies in marine science (ed. by Barnes, H.). George Allen and Unwin Ltd., London, 171-185.

D'Agostino, A. and Finney, C. (1974). In Pollution and physiology of marine organisms (ed. by Vernberg, F.J. and Vernberg, W.B.). Academic Press, New York, San Francisco, and London, 445-463.

Doudoroff, P., Anderson, B.G., Burdick, G.E., Galtsoff, P.S., Hart, W.B., Patrick, R., Strong, E.R., Surber, E.W., and Van Horn, M. (1951). *Sewage and Ind. Wastes*, 23, 1380-1396.

Kasahara, S. and Akiyama, T. (1976). *J. Fac. Fish. anim. Husb. Hiroshima Univ.*, 15, 57-65.

- Kobayashi, N. (1971). *Publ. Seto mar. biol. Lab.*, **18**, 379-406.
- 根本敬久 (1977). 海の生物群集と生産, 西沢 敏・石田力一・川崎 健編. 恒星社厚生閣, 東京, 163-234.
- 西沢 敏 (1977). 海の生物群集と生産, 西沢 敏・石田力一・川崎 健編. 恒星社厚生閣, 東京, 69-161.
- 武田信之 (1954). 生理生態, **6**, 49-54.
- 時岡 隆・鈴木武文 (1939). 生態学研究, **5**, 152-159.
- Yoshikoshi, K. (1980). *Bull. Jap. Soc. scient. Fish.*, **46**, 705-710.